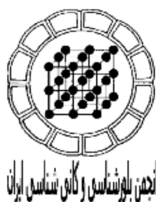
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران



سال بیست و سوم، شمارهٔ سوم، پاییز ۹۴، از صفحهٔ ۵۴۵ تا ۵۵۴

فرآوری، بهسازی و عوامل رنگ‌زا در گوهرهای جنوب ترود

رسول شیخی قشلاقی*، منصور قربانی، فریبرز مسعودی

دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

(دریافت مقاله: ۹۳/۴/۱۴ ، نسخه نهایی: ۹۳/۹/۱۳)

چکیده: گستره‌ای که گوهرهای مورد بررسی در آن واقع شده‌اند در ۱۹ کیلومتری جنوب ترود و ۱۳۵ کیلومتری جنوب شرق دامغان قرار دارد. در فرآوری نمونه‌های این گستره سریع‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین روش، روشی است که در مرحله‌ی سایش و فرم دهی از دیسک‌های ساب با مش ۱۲۰و در مرحله‌ی صیقل زنی از روش خشک استفاده شود. تغییرات تراکم اکسید آهن و نیز کانی‌های کلسیت و رس تنوع رنگ در جاسپیریت‌های منطقه ترود را موجب شده است. همچنین بر اساس آنالیز ICP-OES انجام شده، می‌توان رنگ کریزوپرازها را در ارتباط با وجود نیکل، عقیق‌های نارنجی مایل به صورتی را در ارتباط با عناصر آهن، کبالت، منگنز و وانادیم و عقیق‌های خاکستری را وابسته به عناصر کروم و تیتانیم دانست. در بهسازی این گوهرها نیز بهترین روش برای رنگ آمیزی عقیق‌های زرد، جاسپیریت‌های کرم، سنگ خون و اپال‌ها، روش گرمادهی است. در روش استفاده از مواد شیمیایی نیز گوهرهایی با بافت میکرواسفرولیتی و میکروواریولیتی مستعدترین گوهرها برای رنگ آمیزی هستند.

واژه‌های کلیدی: *ترود؛ دامغان؛ کریزوپراز؛ خون سنگ؛ میکرواسفرولیتی.*

مقدمه

در ۱۹ کیلومتری جنوب ترود و در ۱۳۵ کیلومتری جنوب شرقی دامغان، حجم زیادی از سنگ‌های نیمه قیمتی وجود دارد که همه‌ی آن‌ها از گوهرهای خانواده‌ی کوارتز هستند و انواع عقیق، جاسپیریت و نیز اپال را شامل می‌شوند (شکل ۱، الف، ب و پ).

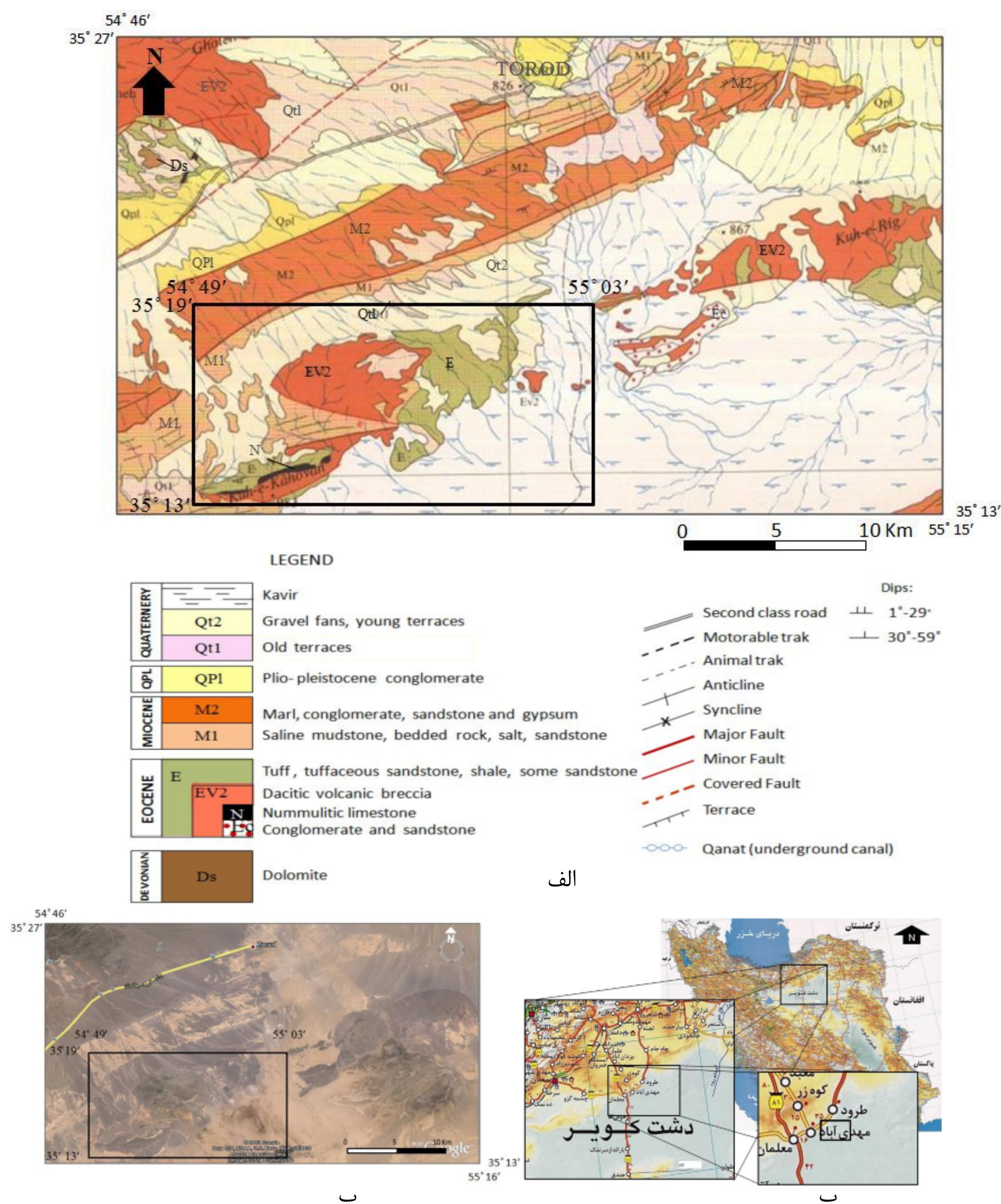
با توجه به اینکه رنگ در ارزش اقتصادی گوهرها نقش زیادی دارد، بررسی عوامل رنگ‌زا و علت ایجاد رنگ در این گوهرها از اهمیت زیادی برخوردار است. از طرفی این گوهرها از نظر رنگ کیفیت بالایی ندارند؛ بنابراین از ارزش اقتصادی چندانی برخوردار نیستند و به‌نظر می‌رسد که استفاده از روش-های بهسازی بتواند به ارزش اقتصادی آن‌ها بیافزاید.

همچنین دستیابی به بهترین روش فرآوری می تواند هم از هزینه و زمان صرف شده برای تراش به‌کاهد و هم به کیفیت نمونه‌های فرآوری شده بیافزاید.

نظر به اینکه هر کشور در صورت دستیابی به فناوری بهسازی و فرآوری گوهرها، تمایل دارد آن را فقط در اختیار خود داشته باشد و با توجه به نیاز کشور به استفاده از این فناوری، در این مقاله سعی شده است تا به بهترین روش‌های بهسازی و فرآوری گوهرهای یاد شده پرداخته شود.

از محدود بررسی‌هایی که در رابطه با این موضوع در ایران به انجام رسیده می‌توان به کارهای حاج علیلو و همکاران (۱۳۹۰) [۱] در منطقه‌ی میانه اشاره کرد. آن‌ها معتقدند که کانی‌سازی عقیق در منطقه، درون واحدهای آتشفشانی اسیدی

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۸۶۰۵۹۶۸۹، نمابر: ۲۲۹۲۵۲۷۱(۰۲۱)، پست الکترونیکی: rasoul.sheikhi@yahoo.com



شکل ۱ موقعیت گوهرهای مورد بررسی بر روی الف، نقشه‌ی زمین‌شناسی ترود (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود) [۲]، ب،عکس هوایی، پ، راه‌های دسترسی

ائوسن به شکل پر کننده‌ی حفره‌ها رخ داده است. آن‌ها مهم‌ترین عامل ایجاد رنگ آبی در عقیق‌های منطقه را مس، و در ایجاد رنگ‌های سرخ، دودی و سیاه را آهن و منگنز می‌دانند و عقیده دارند که بهترین دما برای رنگ آمیزی عقیق‌های سرخ و نارنجی منطقه، ۵۰۰°C و عقیق‌های آبی روشن و تیره °C ۵۵۰ است [۱]. گرچه به گوهرهای جنوب ترود علی رغم حجم بزرگ آن‌ها در سرتاسر ناحیه تاکنون از نظر علمی توجهی نشده است و این مقاله اولین مقاله ای است که در این مورد نوشته شده است ولی افراد زیادی شمال این گستره را از نظر مواد معدنی گرانبها به ویژه طلا و فیروزه مورد بررسی قرار داده‌اند. از این پژوهشگران می‌توان بهHelmhacker [۳] و Henmacke [۴] اشاره کرد که اولین کسانی هستند که از

کارهای قدیمی در آبرفت طلادار کوه زر نام برده‌اند. به گفته‌ی Helmhacker[۳] این ذخایر در قرن چهاردهم میلادی مورد بهره‌برداری قرار گرفت و عیار آن ۲ الی ۳ گرم در تن بوده است. همچنین Dichel [۵] عیار طلا را ۲ تا ۳ گرم در متر مکعب براورد کرد و به عقیده‌ی او خاستگاه طلا در بین رگه-های کوارتز است و با گرانیت شرق دهکده‌ی کوه زر ارتباط دارد. از دیگر افراد می‌توان به رشید نژادعمران [۶] اشاره کرد که به سنگ‌شناسی و ارتباط آن با کانی‌سازی طلا در منطقه باغو پرداخته است. همچنین آقاجانی [۷] کانسار طلای کوه زر را از نظر ژئوشیمیایی، سنگ‌شناسی و دگرسانی و ارتباط آن‌ها با کانی‌سازی طلا مورد بررسی قرار داده است. لیاقت و همکاران [۸] نیز سنگ‌شناسی، ژئوشیمی و پیدایش فیروزه‌ی باغو-دامغان را بررسی کردند و معتقدند که در کمربند آتشفشانی - نفوذی، ترود - چاه شیرین در منطقه‌ی باغو، فیروزه به‌صورت رگچه‌ها و رگه‌هایی به ضخامت ۴ میلیمتر تا ۱.۲ سانتی‌متر و نیز به صورت دانه‌های پراکنده در سنگ‌های گرانودیوریتی و داسیتی تشکیل شده است. همچنین رضایی شاهزاده و همکاران [۹] ارتباط کانی‌سازی طلا با زمین ساخت و ساخت-های گسل منطقه گندی را مورد بررسی قرار داده‌اند.

بنا به‌دلایلی همچون نادر بودن ولکانیسم اسیدی در منطقه، گستردگی دگرسانی در این منطقه، افزایش اندازه و فراوانی گوهرها با نزدیکی به دایک‌ها (دایک‌ها به عنوان ماشین گرمازایی عمل کرده و موجب تسهیل گردش آب‌های جوی در داخل ولکانیک‌ها شده‌اند) و وجود گوهرها تنها در نزدیکی ولکانیک‌های دارای متن شیشه‌ای ناپایدار که به کوارتز ثانویه تجدید تبلور یافته‌اند، (تجدید تبلور شیشه ناپایدار به کوارتزهای ثانویه به‌دلیل اینکه نفوذپری را بالا می‌برد سیستمی برای انتقال سیلیس حتی در دماهای پایین فراهم می‌آورد [۱۱،۱۰]) می‌توان گفت که سیلیس ایجاد کننده گوهرهای منطقه از انحلال متن ولکانیک‌ها و توف‌ها تأمین شده‌اند. در این رابطه توف‌های تجدید تبلور یافته بیشترین سهم را دارند.

هدف از این بررسی دستیابی به سریع‌ترین و مقرون به صرفه ترین روش فرآوری، بهترین روش بهسازی و تعیین عوامل ایجاد کننده رنگ در گوهرهای جنوب ترود است.

روش بررسی

برای فرآوری، بهسازی و تعیین عوامل رنگ‌زا اقدام بـه عملیـات صحرایی و نمونه برداری و تهیـه‌ی ۲۴۵ مقطـع نـازک از انـواع عقیق‌ها، جاسپیریت‌ها و اپال‌ها شـد. همچنـین بـرای مـشخص شدن عوامل رنگ‌زا، تعداد ۳ گونه از عقیق‌ها (به علت تنوع کـم رنگ و حجم بسیار کم سایر رنگ‌ها، ۳ گونه از عقیق‌ها انتخـاب شدند) که شامل ۱ نمونه کارنلین، ۱ نمونه کریزوپراز و ۱ نمونه عقیـق خاکـستری بـود کـه بـرای آنـالیز شـیمیایی بـه روش ICP-OES به آزمایشگاه کانساران بینالود ارسال شـدند. بـرای شناسایی، سریع‌ترین و مقـرون بـه صـرفه‌تـرین روش تـراش و فرآوری نیز، ۹۶ نمونـه از گوهرهـای منطقـه بـه‌صـورت تخـت، دامله، یمنی، فانتزی و هنری تـراش داده شـدند. همچنـین بـه منظور تعیین دمای ایجاد کننده بهترین رنگ در هر گوهر نیـز، بهسازی و رنگ آمیزی گوهرها به روش گرمـادهی در ۵ مرحلـه انجام گرفت و در هر مرحله از نمونه‌های بهـسازی شـده عکـس برداری شد و سپس تغییر رنگ آن‌ها در دماهای مختلـف مـورد بررسی قرار گرفت. نهایتاً برای مشخص شدن ارتبـاط بـین نـوع بافت و رنگ دهی عقیق با استفاده از مواد شیمیایی، تعـدادی از آن‌ها با استفاده از مواد شیمیایی رنگ آمیزی شدند.

فرآوری

برای تعیین ارزش گوهری، کیفیت و نوع جلا و نیز دستیابی به سریعترین و مقرون به صرفه‌ترین روش تراش و فرآوری گوهرها، اقدام به تراش ۹۶ نمونه از گوهرهای منطقه شد. در فرآوری این گوهرها که همه‌ی آن‌ها از گوهرهای خانواده کوارتز بودند بهترین روش با استفاده از روش آزمون و خطا تعیین شد. در این آزمون سریعترین و مقرون به صرفه‌ترین روش از نظر اقتصادی، روشی است که پس از برش و فرم دهی، صیقل زنی به روش خشک و بدون آب صورت گیرد، زیرا در این روش از پودر خود سنگ برای صیقل زنی استفاده می‌شود و نیازی به پودر و دیگر عوامل صیقل مانند نمد و چرم نیست. در صیقل-کاری نمونه‌ها هر قدر سرعت چرخش دستگاه صیقل زن بیشتر باشد به صیقل با کیفیت بهتری دست می‌یابیم در این رابطه بهترین سرعت، ۲۸۰۰r/pm به بالاست زیرا در سرعت‌های پایین‌تر پودر کمتری تولید می‌شود و در نتیجه به صیقل با کیفیت پایین دست خواهیم یافت. در این روش در مرحله‌ی سایش و فرم دهی، از دیسک‌های ساب با مش ۱۲۰ استفاده شد زیرا استفاده از دیسک‌های زبرتر، مصرف سمباده و زمان صرف شده برای عمل صیقل‌کاری را بالا می‌برد (به جای استفاده از سه نوع سمباده با مش‌های متفاوت، نیاز به چهار نوع سمباده است). استفاده از دیسک‌های نرم تر نیز استهلاک دیسک‌ها و در نتیجه هزینه‌ی تراش را بالا می‌برد. در مرحله‌ی صیقل‌کاری، برای اینکه بتوان ضمن رسیدن به بهترین کیفیت جلا از کمترین مراحل سمباده زنی استفاده شود (برای صرفه جویی در زمان و هزینه) نه تنها از دیسک های ساب با زبری

متفاوت استفاده شد بلکه در هر مرحله صیقل زنی سمباده با مش‌های متفاوت امتحان گردید تا بهترین مش سمباده در هر مرحله انتخاب شود. در جدول (۱) بهترین مش‌های سمباده برای صیقل کاری هر گوهر آورده شده‌اند.

کیفیت صیقل پذیری تمامی گوهرهای منطقه متوسط تا عالی است که در این میان کیفیت بالای صیقل‌پذیری آگات-های خاکستری، کریزوپرازها و اپال‌ها نسبت به سایر گوهرهای منطقه در خور توجه می باشد.

عوامل رنگ زا در گوهرهای منطقه ترود

برای مشخص شدن عوامل رنگ‌زا در گوهرهای منطقه، از بررسی‌های میکروسکوپی استفاده شد. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی لکه‌هایی از اکسید آهن سبب ایجاد رنگ قهوه‌ای و جگری در جاسپیریت‌ها می‌شود که با افزایش تراکم این اکسید رنگ‌های قهوه‌ای و جگری به سیاه تبدیل می‌شوند. در جاسپیریت‌هایی که قهوه‌ای کم رنگ با اندکی تمایل به رنگ زرد هستند (کرم) مقدار زیادی کلسیت و رس مشاهده می‌شود، در واقع آنچه در زیر میکروسکوپ دیده می‌شود کاهش میزان اکسید آهن و افزایش رس و کلسیت است. همچنین با توجه به اینکه رس می‌تواند رنگ‌های سفید مایل به زرد یا سفید مایل به خاکستری را در جاسپیریت ها سبب شود [۱۲]، بنابراین این رنگ در جاسپیریت‌ها را می‌توان در ارتباط با اکسید آهن همراه با ترکیبی از رس و کلسیت دانست.

در مواردی که بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی تشخیص نوع عامل رنگ‌زا غیر ممکن بود، به بررسی‌های شیمیایی روی آوردیم. در این بررسی‌ها که بر اساس آنالیز شیمیایی به روش ICP-OES انجام شد ۳ گونه از عقیق‌ها (به‌علت تنوع کم رنگ و حجم بسیار کم رنگ‌های دیگر که قابل اغماض بودند، ۳ گونه از عقیق‌ها انتخاب شدند) که شامل ۱ نمونه کارنلین به رنگ نارنجی مایل به‌صورتی، ۱ نمونه کریزوپراز به رنگ سبز سیبی و ۱ نمونه عقیق خاکستری بود به آزمایشگاه کانساران بینالود ارسال شد که نتایج آن را در جدول (۲) مشاهده می‌کنیم.

جدول ۱ کیفیت صیقل پذیری و بهترین مش‌های سمباده برای صیقل زنی گوهرهای منطقه‌ی ترود.

نوع گوهر / مش سمباده	۲۰۰	۲۲۰	۴۰۰	۸۰۰	۱۵۰۰	کیفیت صیقل پذیری
کارنلین (دارای بافت اسفرولیتی)	*			*	*	متوسط
کارنلین (دارای بافت آکسیولیتی و واریولیتی)	*			*	*	بسیار خوب
آگات‌های سفید (دارای بافت اسفرولیتی)	*		*			خوب
آگات‌های خاکستری کمرنگ (دارای بافت واریولیتی)	*			*		بسیار خوب
آگات‌های خاکستری (ترکیبی از بافت کریپتوکریستالین، میکروواریولیتی تا میکرواسفرولیتی)	*		*		*	عالی
آگات‌های زرد (دارای بافت کریپتوکریستالین)	*			*		بسیار خوب
کریزوپراز کم رنگ (دارای ترکیبی از بافت‌های آکسیولیتی، واریولیتی، کریپتوکریستالین، فلسیک و گرانولار)	*		*	*		خوب
کریزوپراز (دارای بافت کریپتوکریستالین)	*		*	*		عالی
جاسپیریت‌های قهوه‌ای کم رنگ (کرم)		*				متوسط
جاسپیریت‌های قهوه‌ای	*		*			بسیارخوب
جاسپرهای جگری		*				متوسط
جاسپیریت‌های جگری مایل به سیاه	*		*			خوب
جاسپیریت‌های سیاه	*			*		بسیار خوب
سنگ خون		*				متوسط
اپال	*		*	*		عالی

جدول ۲ نتایج آنالیز شیمیایی به روش ICP-OES برای سه نمونه از عقیق‌های منطقه ترود (منظور از DL، حد کشف دستگاه برای عنصر مورد نظر است).

نمونه	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	**Ce**
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
DL	۰٫۱	۱۰۰	۰٫۵	۵	۰٫۲	۰٫۲	۱۰۰	۰٫۱	۱
KK_{10}	۰٫۱۵	۵۱۷۳	۲٫۲	۱۶	۰٫۶	۰٫۳۸	۲۱۱۳	۰٫۲۹	۲
M_{44}	۰٫۱۴	۱۰۵۰	۵٫۲	۹	۲	۰٫۳۸	۵۹۴	۰٫۳	۲
M_{45}	۰٫۱۵	۵۲۲	۲٫۴	۵	۲٫۵	۰٫۳۹	۵۷۰	۰٫۲۸	۲

نمونه	Co	Cr	Cu	Fe	K	La	Li	Mg	Mn
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
DL	۱	۱	۱	۱۰۰	۱۰۰	۱	۱	۱۰۰	۵
KK10	۲	۱۳۹	<۱	۷۹۱۴	۷۹۸	۱	۵۳	۳۳۲	۷۶
M44	<۱	۷۲۶	<۱	۸۱۲۱	۲۴۳	<۱	۱۴	۲۳۸	۵۹
M45	۳	۴۳۰	<۱	۹۹۹۶	۱۱۰	<۱	۲	۳۷۲	۷۷

نمونه	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Sr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
DL	۰٫۵	۱۰۰	۱	۱۰	۱	۵۰	۰٫۵	۰٫۵>	۲
KK10	۱٫۵۸	۲۲۵۸	۶	۵۷	۸	۹۸	۱۲٫۵	۰٫۵>	۵
M44	۱٫۲۸	۷۰۵	۱	۶۵	۶	<۵۰	۱٫۱۸	۰٫۵>	<۲
M45	۷٫۵	۴۳۳	۱۷	۵۰	۷	۵۴	۱٫۱۴	۰٫۵>	<۲

نمونه	Th	Ti	U	V	Y	Yb	Zn	Zr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
DL	۰٫۵	۱۰	۰٫۵	۱	۰٫۵>	۰٫۲	۱	۵
KK10	۲٫۵	۷۰	۲٫۱	۸	۱	۰٫۲>	<۱	<۵
M44	۲٫۳	۸۲	۲	۵	۱	۰٫۳	<۱	<۵
M45	۲٫۲	۲۹	۲٫۲	۱۴	۱	۰٫۴	<۱	<۵

مقدار، آلومینیوم، کلسیم، پتاسیم و سدیم در کریزوپرازها بیشتر و در عقیق‌های نارنجی مایل به صورتی کمتر از عقیق‌های دیگر بود به گونه‌ای که میزان این عناصر در کریزوپرازها به ترتیب ۵۱۷۳ppm، ۲۱۱۳ppm، ۷۹۸ppm و ۲۲۵۸ ppm، در عقیق‌های خاکستری ۱۰۵۰ppm، ۵۹۴ ppm، ۲۴۳ ppm و ۷۰۵ppm و نیز در عقیق‌های نارنجی مایل به صورتی ۵۲۲ ppm، ۵۷۰ ppm، ۱۱۰ ppm و ۴۳۳ ppm بوده است. البته میزان بالای کلسیم در کریزوپرازها را می‌توان در ارتباط با کانی کلسیت موجود در آن‌ها دانست (با توجه به بررسی‌های سنگ نگاری) که خود می‌تواند در روشنی رنگ کریزوپرازها نقش داشته باشد. در عوض عقیق‌های نارنجی مایل به‌صورتی نیکل، کبالت، منگنز و وانادیم بیشتری نسبت به دو نوع دیگر دارند. مقدار این عناصر برای این عقیق‌ها به ترتیب ۱۷ ppm، ۳ ppm، ۷۷ ppm و ۱۴ ppm بوده است. این در حالی است که عقیق‌های خاکستری به ترتیب با مقادیر ۱ ppm، کمتر از۱ ppm، ۵۹ ppm و ۵ ppm در پایین‌ترین مقدار قرار دارند. مقدار آهن نیز در عقیق‌های نارنجی مایل به صورتی ۹۹۹۶ ppm در عقیق‌های خاکستری ۸۱۲۱ ppm و در کریزوپرازها ۷۹۱۴ ppm است که می‌تواند نشان دهنده‌ی تأثیر عنصر آهن در ایجاد رنگ عقیق‌های نارنجی مایل به صورتی باشد. البته در این زمینه باید نقش عناصر کبالت، منگنز و وانادیم را نیز که مقدار آن‌ها در این عقیق‌ها بیشتر از سایر عقیق‌هاست در نظر گرفت. اما عنصری که به مقدار قابل توجهی در عقیق‌های خاکستری وجود دارد کروم است به‌طوری که مقدار آن در این عقیق‌ها ۷۲۶ ppm و بالاتر از عقیق‌های دیگر است. این در حالی است که مقدار این عنصر در عقیق‌های نارنجی مایل به‌صورتی ۴۳۰ ppm و در کریزوپرازها ۱۳۹ ppm است. عنصر دیگری که در این عقیق‌ها از مقدار بالایی برخوردار است تیتانیم با مقدار۸۲ ppm است. مقدار تیتانیم در کریزوپرازها نیز ۷۰ ppm و در عقیق‌های نارنجی مایل به-

صورتی ppm ۲۹ است. بنابراین با توجه به این مقادیر، عناصر تیتانیم و کروم را می‌توان عامل رنگ‌زا در عقیق‌های خاکستری دانست (شکل ۲).

بهسازی گوهرهای منطقه

برخی از کانی‌های نیمه قیمتی به دلیل نـامرغوب بـودن رنـگ، ارزش گوهری پایینی دارند که می توان با رنگ آمیزی مصنوعی به ارزش اقتصادی آن‌ها افزود [۱۳].

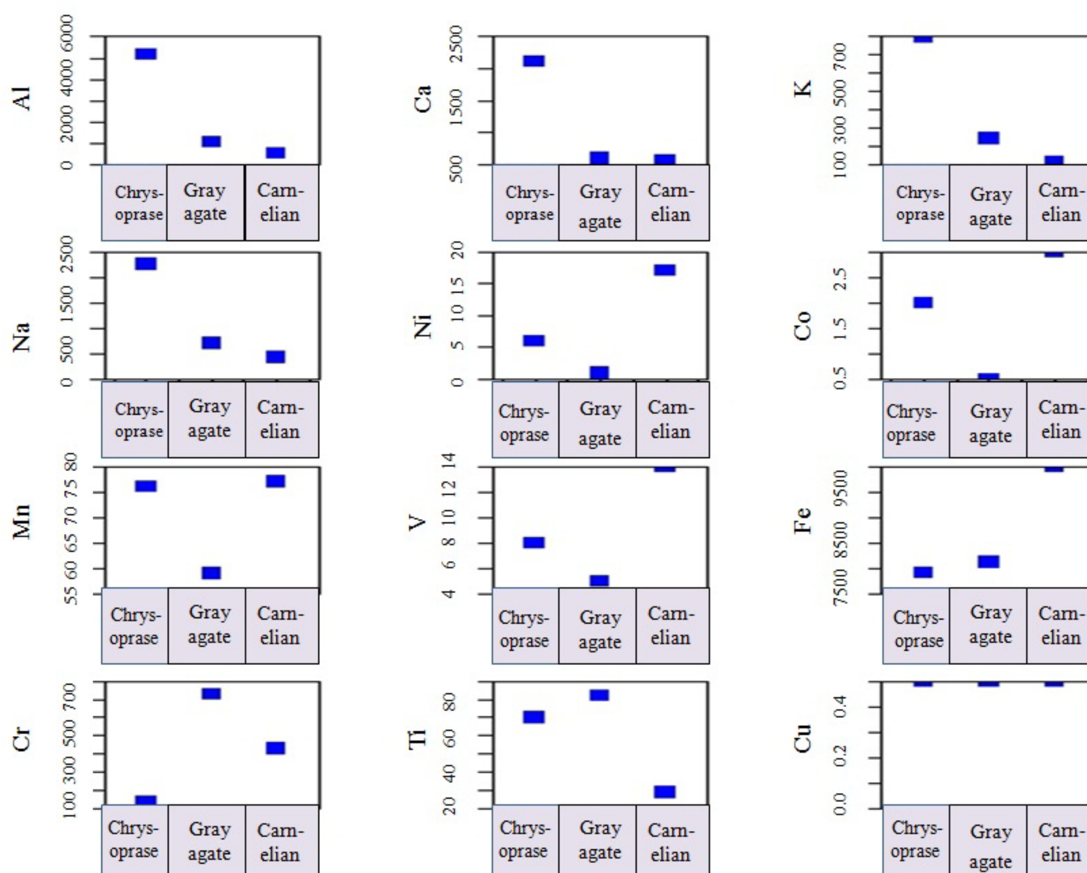
عموماً رنگ آمیزی مـصنوعی کـانی‌هـا و سـنگ‌هـای نیمـه قیمتی به یکی از سه روش زیر صورت می‌پذیرد.

۱. روش گرما دادن: گوهرهایی کـه ایـن روش در آن‌هـا بـسیار موثر است، عبارتند از زیـرکن، کـوارتز، بریـل، توپـاز و زویزیـت (تانزانیت) [۱۴]. عامل اصـلی در تغییـر رنـگ گوهرهـا در ایـن روش مربوط به توزیع مجدد مولفه های رنگ ساز در بافـت آن-هاست [۱۵].

۲. روش استفاده از محلول‌های شیمیایی: این روش بیشتر برای رنگ آمیزی کلسدونی، یشم و فیروزه تأثیر دارد [۱۴]. با توجه به اینکه این روش برای رنگ آمیزی عقیق‌ها روش مناسبی است، بنابراین در زیر به چگونگی رنگ‌آمیزی آن‌ها با این روش می‌پردازیم.

جذب رنگ در انواع عقیق‌ها متفاوت بوده و به خلل و فرج و محتوای آب در هر یک از لایه‌های آن‌ها بستگی دارد. از آنجا که مواد رنگ‌زای غیر آلی رنگ کمتری دارند و در مقابل نور به تدریج کمرنگ می‌شوند از این مواد برای رنگ آمیزی استفاده می‌شود [۱۶].

۳. روش استفاده از پرتـو رادیواکتیـو: ایـن روش در بـسیاری از گوهرها، رنگ مطلوبی به‌وجود می‌آورد، ولی تنها در موارد بسیار کمی رنگ‌ها دائمی بوده‌اند. منابع مختلف رادیواکتیو عبارتند از: پرتوهـای ایکـس، ذرات آلفـای حاصـل از یـک شـتاب دهنـده، نوترن‌های حاصل از پیل‌های اتمی و پرتوهای گامـای حاصـل از کبالت ۶۰. این روش مـوثرترین روش در بهبـود رنـگ المـاس، توپاز و کوارتز بوده است[۱۴].



شکل ۲ مقدار عناصر رنگ‌زا در کریزوپرازها، عقیق‌های خاکستری و کارنلین‌ها.

برای بهسازی گوهرهای منطقه ترود از دو روش گرما دادن و بکار بردن محلول‌های شیمیایی استفاده شد. در روش گرما دادن، تعداد ۲۳ نمونه از گوهرهای منطقه پس از تراش و صیقل دهی، در کوره الکتریکی دیجیتالی در ۵ مرحله گرما داده شدند. در مرحله‌ی اول گوهرها تا دمای ^oC۱۵۰، در مرحله دوم تا دمای ^oC ۲۵۰، در مرحله سوم تا دمای ^oC ۳۵۰، در مرحله‌ی چهارم تا دمای ۴۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و بالاخره در مرحله‌ی پنجم تا ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد گرما داده شدند. زمان توقف دما در دمای بیشینه در هر مرحله‌ی ۳۰ دقیقه و سرعت بالا بردن دما نیز تا مرحله‌ی ۴ یعنی دمای ۴۵۰ درجه-ی سانتی گراد ۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در هر دقیقه و در مرحله آخر یعنی ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برای پیشگیری از شکسته شدن سنگ‌ها ۲.۵ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه بود. نتایج آزمایش به شرح زیرند.

در ۲ مرحله‌ی اول یعنی تا دمای ۲۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد هیچ تغییر رنگی در گوهرها مشاهده نشد. در دمای ۳۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تغییر رنگی در سنگ خون و جاسپیریت های جگری مایل به سیاه و سیاه مشاهده نشد، ولی کارنلین-های پررنگ، کریزوپرازها، عقیق‌های خاکستری، عقیق‌های سفید و اپال‌ها کمی تیره‌تر و عقیق‌های زرد نیز کمی پر رنگ تر شدند. همچنین کارنلین‌هایی با رنگ روشن‌تر نیز کمی به رنگ زرد متمایل شدند. در این دما جاسپیریت‌های قهوه‌ای کرم به رنگ قهوه‌ای سرخ، و جاسپیریت‌های قهوه‌ای نیز به رنگ جگری درآمدند (شکل ۳،الف،ب، پ و ت). دمای ۴۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نیز موجب روشن‌تر شدن رنگ کارنلین‌ها، عقیق‌های خاکستری، سفید و زرد و همچنین اپال‌ها شد. همچنین جاسپیریت‌هایی که در دمای ۳۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به رنگ قهوه‌ای سرخ در آمدند در این دما کمی تیره‌تر شدند. گوهرهای دیگر تغییر چندانی نشان ندادند (شکل ۳،ث و ج). در دمای ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نیز بیشتر سنگ‌ها یا شکسته شدند، و یا ترک برداشتند. این ترک‌ها و شکستگی‌ها در سنگ‌های دارای ساخت موزاییکی محسوس‌تر و منطبق بر مرز موزاییک‌ها بودند. در این دما اپال‌ها و سنگ خون‌ها در مقابل گرما مقاومت خوبی نشان دادند. این دما سبب شد تا رنگ اپال‌ها به‌صورتی و رنگ سنگ خون‌ها به زرد متمایل شود (سبز زیتونی) (شکل ۳، چ و ح). عقیق‌های خاکستری کم رنگ نیز در هر مرحله با افزایش دما کم رنگ‌تر شدند (شکل ۳، الف، ب، پ، ت، ث، ج، چ و ح). در روش استفاده از مواد شیمیایی، با توجه به این که مواد شیمیایی متفاوت رنگ‌های مختلفی به عقیق‌ها می‌دهند و قبل از رنگ آمیزی مشخص است که عقیق‌ها به چه رنگی در خواهند آمد، بنابراین این آزمایش برای تعیین کافی بودن خلل و فرج عقیق‌هایی با بافت‌های متفاوت و واکنش انواع بافت‌ها نسبت به جذب مواد شیمیایی انجام شد. لازم به یادآوری است که برای جلوگیری از بسته‌شدن روزنه‌ها، نمونه‌های مورد نظر پیش از این آزمایش تراش داده شدند، ولی صیقل دادن پس از آزمایش انجام پذیرفت.

در این روش ۸ نمونه عقیق با بافت‌های مختلف به دو روش رنگ آمیزی شدند. در روش اول ۴ نمونه از عقیق‌ها در محلول غلیظ شکر به مدت ۱ ساعت و ۱۵ دقیقه و سپس در اسید سولفوریک ۲۰ درصد ۴۰ دقیقه جوشانده شدند. بعد از انجام این کار، تعدادی از عقیق‌ها به رنگ سیاه در آمدند که پس از صیقل به خاکستری تغییر رنگ دادند (شکل ۴، الف، پ و ث). عقیق‌هایی که دارای بافت‌های میکرواسفرولیتی و میکروواریولیتی بودند به‌رنگ قابل قبول‌تری نسبت به عقیق-های دیگر دست یافتند. عقیق‌هایی که دارای بافت کریپتوکریستالین بودند به‌صورت خیلی سطحی رنگ گرفتند به‌گونه‌ای که در مراحل اول صیقل زنی رنگ‌های ایجاد شده تقریباً محو شدند.

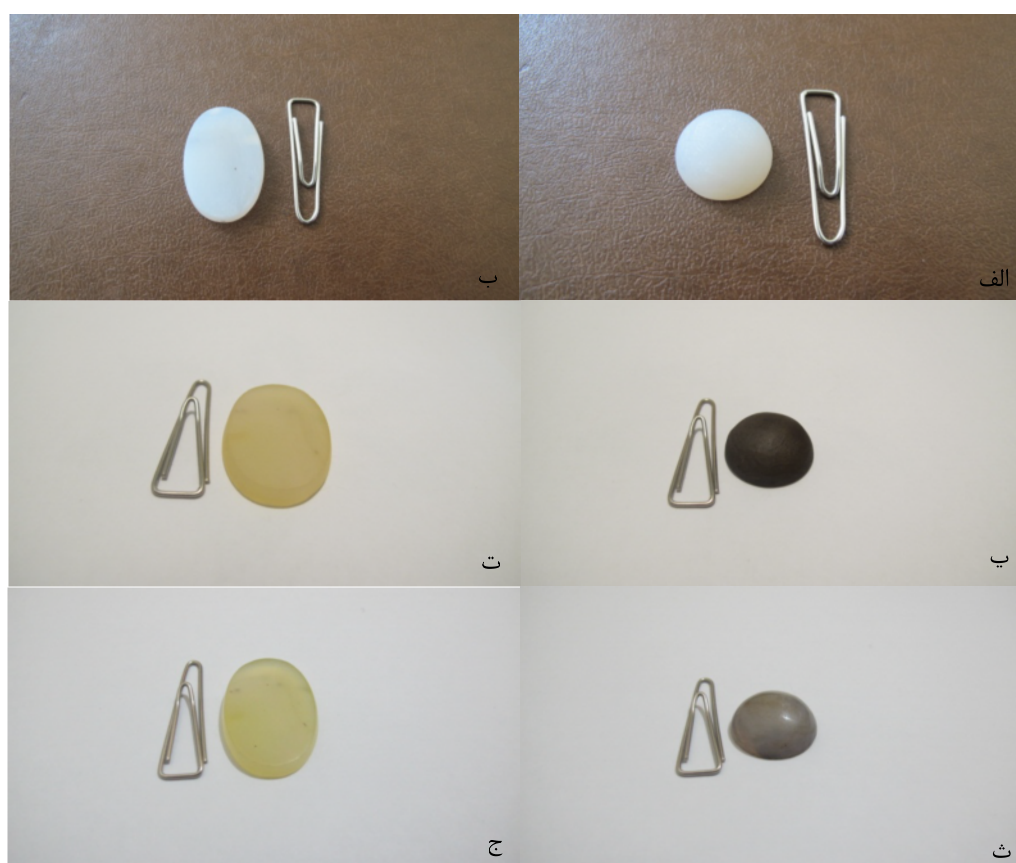
در روش دوم که هدف زرد رنگ کردن عقیق‌ها بود، کار در ۳ مرحله انجام گرفت و در هر مرحله محلول اسیدکلریدریک با غلظتی خاص مورد استفاده قرار گرفت. در اینجا از محلول‌هایی با غلظت ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ استفاده شد.

نحوه انجام این آزمایش چنین بود که پس از قرار دادن آگات ها در اسید کلریدریک و اشباع آن‌ها که بسته به ضخامت عقیق تراش داده شده و نوع بافت آن‌ها ۳۰ تا ۶۰ ساعت به طول انجامید، به مدت ۱ ساعت داخل همان محلول جوشانده شدند.

استفاده از محلول‌های ۱۰٪ و ۲۰٪ عقیق‌ها را تغییر رنگ چندانی نداد، ولی محلول با غلظت ۳۰٪ رنگ قابل قبولی در عقیق‌ها ایجاد کرد. این رنگ که زرد لیمویی است پس از صیقل زنی کمی کم رنگ‌تر شد (شکل ۴، ب، ت و ج). در این روش نیز عقیق‌هایی با بافت میکرواسفرولیتی و میکروواریولیتی نسبت به سایر بافت‌ها به میزان بیشتری رنگ گرفتند و عقیق-هایی که دارای بافت آکسیولیتی و واریولیتی بودند رنگ چندانی نگرفتند.



شکل ۳ الف و ب، رنگ گوهرهای منطقه در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد. الف، ۱ عقیق خاکستری کم رنگ ۲ سنگ خون. ۳ عقیق خاکستری. ۴ و ۸ عقیق سفید. ۵ جاسپیریت جگری. ۶ اپال. ۷ عقیق زرد. ۹، کریزوپراز. ۱۰ جاسپیریت سیاه. ۱۱ جاسپیریت نواری. ۱۲ جاسپیریت کرم. ب، ۱۳. جاسپیریت قهوه‌ای۱۴، ۱۹ و ۲۲ عقیق نارنجی تا نارنجی مایل به‌صورتی. ۱۵ و ۱۷ کریزوپراز. ۱۶ جاسپیریت کرم. ۱۸جاسپیریت جگری. ۲۰ جاسپیریت جگری مایل به سیاه. ۲۱ عقیق خاکستری. ۲۳ عقیق سفید شجری. پ و ت، رنگ گوهرهای منطقه در دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد. ث و ج، رنگ گوهرهای منطقه در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد. چ و ح، رنگ گوهرهای منطقه در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد.



شکل ۴ رنگ آمیزی عقیق‌های ترود با استفاده از مواد شیمیایی. الف و ب، قبل از رنگ آمیزی. پ، عقیق رنگ آمیزی شده به‌وسیله روش استفاده از محلول شکر و اسید سولفوریک، قبل از صیقل. ت، عقیق رنگ آمیزی شده به‌وسیله روش استفاده از اسیدکلریدریک، قبل صیقل. ث، عقیق رنگ آمیزی شده به‌وسیله روش استفاده از محلول شکر و اسید سولفوریک، بعد صیقل. ج، عقیق رنگ آمیزی شده به‌وسیله روش استفاده از اسیدکلریدریک، بعد از صیقل.

برداشت

در فرآوری نمونه‌ها سریعترین و مقرون به صرفه‌ترین روش، روشی است که در مرحله‌ی سایش و فرم دهی از دیسک‌های ساب با مش ۱۲۰و در مرحله‌ی صیقل زنی کار بدون آب انجام شود. تمرکزهای مختلف اکسید آهن و نیز کانی‌های کلسیت و رس، تنوع رنگ در جاسپیریت‌های منطقه‌ی ترود را موجب شد، به نحوی که با افزایش اکسید آهن رنگ جاسپیریت‌ها به جگری مایل به سیاه و سیاه و با افزایش کانی‌های کلسیت و رس، رنگ آن‌ها با کرم تمایل پیدا می‌کرد. همچنین بر اساس آنالیز ICP-OES، می‌توان رنگ کریزوپرازها را علاوه بر وجود نیکل که سبب پیدایش رنگ سبز سیبی شده در ارتباط با عناصر آلومینیم، کلسیم، پتاسیم و سدیم دانست که روشنی رنگ را در این گوهرها فراهم کردند. علاوه بر آن عامل رنگ در عقیق‌های نارنجی مایل به صورتی را می‌توان در ارتباط با عناصر آهن، کبالت، منگنز و وانادیم و عقیق‌های خاکستری را در ارتباط با عناصر کروم و تیتانیم دانست. بهترین روش برای رنگ آمیزی عقیق‌های زرد و جاسپیریت‌های کرم، روش گرمادهی در دمای ۳۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است. همچنین بهترین روش برای رنگ آمیزی سنگ خون‌ها و اپال‌ها نیز روش گرمادهی در دمای ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است. در روش استفاده از مواد شیمیایی نیز گوهرهای دارای بافت میکرواسفرولیتی و میکروواریولیتی بهترین گوهرها برای رنگ آمیزی هستند زیرا مواد شیمیایی رنگ‌زا می‌توانند در فضای خالی بین میکرواسفرها و میکروواریول‌ها نفوذ کنند.

مراجع

[۱] حاج‌علیلو ب.، وثوق ب.، مؤذن م.، *"ویژگی‌های کانی-شناسی، ژئوشیمی و علل تنوع رنگ در آگات های میانه، شمال*

غرب ایران" مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۳ (۱۳۹۰)، ص ۴۲۷-۴۲۸.

[۲] هوشمندزاده ع.، علوی نائینی م.، حقی پور ع.، *"نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود"*، سازمان تحقیقات زمین شناسی و معدنی کشور، (۱۳۵۷).

[3] Helmhacker R., "*Die nutzbarentagerststten Persians*", Z. prakt. Geol. V. G, (1898) 40.

[4] Henmacke L., "*Die Bodenschatze Persians*",Z.f. Berg-Hutten. Salinenwesen v 47.(1899). 272-274.

[5] Dichel E., "*BeitragZurKenntnis der ErzfundstellenIrans*"Schweizminerpetrogr.Mitt. V. 24, Zurich (1944).

[۶] رشید نژاد عمران ن *"بررسی تحولات سنگ شناسی و ماگمایی و ارتباط آن با کانی سازی طلا در منطقهٔ باغو (جنوب-جنوب شرق دامغان)"*، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ علوم دانشگاه تربیت معلم تهران (۱۳۷۱) ص۲۵۴.

[۷] آقاجانی ح، *"بررسیهای ژئوشیمیایی، پترولوژیکی و دگرسانی کانسار طلایی کوه زر و ارتباط آنها با کانی سازی طلا (باغو- دامغان)"*، اولین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن (۱۳۷۸).

[۸] لیاقت س.، شیخی و.، نجاران م.، *"مطالعه پترولوژی، ژئوشیمیایی و ژنز فیروزه باغو-دامغان"*، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سی و چهارم، شماره ۲ (۱۳۸۷) ص ۱۳۳-۱۴۲.

[۹] رضایی شاهزاده ز.، بوذری س.، بدخشان ممتاز ق.، *"ارتباط کانی سازی طلا با زمین ساخت و ساخت‌های گسله منطقه گندی (جنوب دامغان)"*، مجله جهاد دانشگاهی شهید بهشتی، شماره ۲۲ (۱۳۹۰) ص ۱۰۷-۱۱۴.

[10] Landmesser M., *"Mobility by metastability: silica transport and accumulation at low temperatures"*,ChemErde (1995) 55:149-176

[11] Landmesser M., *"Mobility by metastability in sedimentary and agate petrology applications"*,ChemErde (1998) 58:1-22.

[12] Donoghue M., *"Gems"*, Elsevier, (2006) 937.

[13] Hurlbut C.S., Kammerling R.S., *"Gemology"*, John Wiley, Sons, New York, (1991) 336.

[14] Cornelis S., Hurlbut J. R., *"Manual of Mineralogy"*, John wiley& Sons, INC.New York (1993) 681.

[15] Bauer Jaroslav, *"A field guide in color to minerals, rocksand precious stones"*, Artia, Prague, (1997) 208.

[۱۶] ادیب د، *"جهان جواهرات، کلیات جواهرشناسی"*، چاپخانه آرمان (۱۳۶۹) ص۳۶۲.